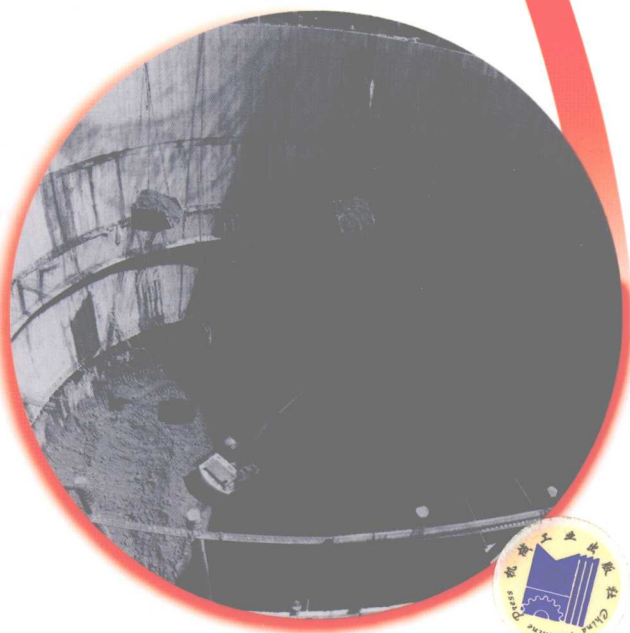




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学与基础工程

务新超 魏 明 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育规划教材

土力学与基础工程

主 编 务新超 魏 明
副主编 靳会武 张小文
参 编 谭建领 胡雪梅 万巨波
主 审 白淑毅



机械工业出版社

本书主要内容包括：绪论；土的物理性质及工程分类；土中水的运动规律；土体中的应力；土的压缩性及变形计算；土的抗剪强度与土坡稳定分析；挡土墙及压力；地基承载力；天然地基上的浅基础设计；桩基础；沉井基础及地下连续墙；地基处理简介；特殊地基的处理。

本书在编写中力求反映岩土工程新规范的内容，反映新技术的应用，体现高职教学实践技能的培养。各章前有学习目标与重点难点，各章后附有小结、思考题和习题。

本书可作为高职高专道路桥梁工程技术、公路监理、铁路工程技术、水利水电工程技术等相关专业的教材，也可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与基础工程/务新超, 魏明主编. —北京: 机械工业出版社, 2007. 4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-21246-1

I. 土... II. ①务... ②魏... III. ①土力学 - 高等学校: 技术学校 - 教材②地基 - 基础 (工程) - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 043536 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李俊玲 覃密道

责任编辑: 李 莉 版式设计: 霍永明 责任校对: 刘志文

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19.75 印张 · 487 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-21246-1

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育“十一五”规划教材

(道路与桥梁、公路监理专业)

编 审 委 员 会

- | | | |
|--------------|-----|------------------|
| 主任委员 | 孟祥林 | 南京交通职业技术学院 |
| 副主任委员 | 钟建民 | 山西交通职业技术学院 |
| | 罗凤姿 | 湖南工程职业技术学院 |
| 委 员 | 王保群 | 山东交通学院 |
| | 田 平 | 河北交通职业技术学院 |
| | 白淑毅 | 广东交通职业技术学院 |
| | 务新超 | 黄河水利职业技术学院 |
| | 刘 武 | 江西交通职业技术学院 |
| | 周志坚 | 福建交通职业技术学院 |
| | 周传林 | 南京交通职业技术学院 |
| | 林丽娟 | 徐州建筑职业技术学院 |
| | 胡兴福 | 四川建筑职业技术学院 |
| | 李俊玲 | 机械工业出版社 (兼委员会秘书) |

出版说明

自20世纪90年代开始,我国公路建设步入了持续、快速发展的轨道。截至2004年年底,我国高速公路通车里程已达3.42万km,年增长21.2%,全国公路通车总里程已达到185.6万km。公路交通建设的发展,使社会急需大量的素质高、应用能力强、富有创新精神的复合型人才,各高等职业院校面临着向社会输送合格的公路专门人才的紧迫任务。“教书育人,教材先行”,人才的培养,离不开优秀的教材。基于此背景和要求,机械工业出版社组织全国多所交通及土建类院校编写了这套针对道路与桥梁、公路监理、高等级公路维护与管理等专业的系列教材。

本系列教材具有以下特点:

1. 贯彻了交通部发布的最新的标准规范,保证了时效性,使教学能与实际紧密结合。

2. 为突出高等职业教育的特点,本套教材的编写班子以双师型教师为主,并吸收了部分企业的技术人员参加教材的编、审工作,使教材能更贴近实际,能反映公路工程建设中最新的技术、工艺和方法。

3. 不追求教材的系统性和完整性,以够用、实用为原则,将理论知识与实际操作融为一体。基础理论知识以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学,重点培养学生的动手能力和思维方法。

4. 每本教材中都有“学时分配建议表”,供授课教师参考;每章前有“学习目标”,章后有“小结”、“思考题”、“习题(或操作实训)”,更利于学生学习和复习。

5. 以学生好学、教师上课方便为宗旨,将教学改革成果引入到教材中,并陆续配备电子教案、学习指导等,力争为一线教师提供较全面的立体化的教材。

6. 在教材内容的选取上,以三年制教学为主,也充分考虑了两年制教学的要求,可供三年制和两年制教学使用。

希望本系列教材的出版,能促进高等职业院校道路与桥梁等专业的教材建设,为培养符合市场需要的高技能人才起到积极的推动作用。

机械工业出版社

前 言

本书编写中考虑了道路桥梁工程技术专业发展的需要,体现了高职高专道路桥梁工程技术专业特色,吸收了本学科领域工程技术的相关新规范。

从高职高专学生的特点和培养目标的要求出发,本教材中主要体现以下特点:

(1) 突出土力学与基础工程的概念、原理和计算公式的应用条件,尽量减少公式推导过程,加强工程应用内容,强调学生一线工程应用能力的培养。

(2) 教材力求体现有关岩土工程的最新规范,吸收了国家标准和水利、建筑、交通等行业颁布的最新规范,如《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《土工试验规程》(SL 237—1999)、《公路土工试验规程》(JTJ 051—1993)、《公路桥涵设计通用规范》(JTG D 60—2004)等不同行业的最新技术规范。

(3) 本书以交通部部颁标准为主,对不同行业的工程技术规范进行归纳分类,以介绍普遍性为主,同时兼顾不同行业的特殊性,使学生能灵活应用不同行业的规范,培养适应工程实践的能力。

(4) 在每章前对本章内容提出学习目标,明确相应的知识点和具体要求,便于学生学习时掌握重点。

(5) 在每章后对有关知识作了小结,提出了相关问题,便于学生在学习过程中进行深入思考,以利于培养学生的学习能力。

(6) 标★章节为选学章节,供学有余力的学生深入学习。

本课程理论教学学时为 100 学时,学时分配建议如下表:

内 容	学时	内 容	学时
绪论	1	地基承载力	6
土的物理性质及工程分类	9	天然地基上的浅基础设计	14
土中水的运动规律	4	桩基础	16
土体中的应力	6	沉井基础及地下连续墙	6
土的压缩性及变形计算	8	地基处理简介	8
土的抗剪强度与土坡稳定分析	8	特殊地基的处理	6
挡土墙及土压力	8	合 计	100

VI 前 言

本书由黄河水利职业技术学院务新超副教授、湖南工程职业技术学院魏明担任主编。务新超负责最后统稿、修改、定稿工作。参加本书编写人员分工如下：黄河水利职业技术学院务新超编写绪论、第1章、第6章；湖南工程职业技术学院魏明编写第2章、第11章；徐州建筑职业技术学院靳会武编写第3章、第4章；山西交通职业技术学院张小文编写第5章、第7章；南京交通职业技术学院胡雪梅编写第9章；湖南工程职业技术学院万巨波编写第10章、第12章；黄河水利职业技术学院谭建领编写第8章。

由于编者水平有限，本书中缺点、错误在所难免，敬请广大读者给予批评指正。

编 者

本书在编写过程中，参考了国内外许多相关文献，在此谨向原作者致以诚挚的谢意。主要参考文献如下：
 (1) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (2) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (3) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (4) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (5) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (6) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (7) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。
 (8) 《公路工程施工安全技术规范》(JTJ 303—2003)。

章 次	内 容	编 者	单 位
0	绪论	务新超	黄河水利职业技术学院
1	土方工程施工安全技术	务新超	黄河水利职业技术学院
2	地基工程施工安全技术	魏明	湖南工程职业技术学院
3	土方工程施工安全技术	靳会武	徐州建筑职业技术学院
4	土方工程施工安全技术	靳会武	徐州建筑职业技术学院
5	土方工程施工安全技术	靳会武	徐州建筑职业技术学院
6	土方工程施工安全技术	务新超	黄河水利职业技术学院
7	土方工程施工安全技术	务新超	黄河水利职业技术学院
8	土方工程施工安全技术	谭建领	黄河水利职业技术学院
9	土方工程施工安全技术	胡雪梅	南京交通职业技术学院
10	土方工程施工安全技术	万巨波	湖南工程职业技术学院
11	土方工程施工安全技术	魏明	湖南工程职业技术学院
12	土方工程施工安全技术	万巨波	湖南工程职业技术学院

目 录

出版说明

前言

绪论 1

第一章 土的物理性质及工程分类 9

第一节 土的组成与结构 9

第二节 土的物理性质指标 14

第三节 土的物理状态指标 17

第四节 土的击实性 21

第五节 土的工程分类 22

小结 28

思考题 29

习题 30

第二章 土中水的运动规律 32

第一节 土的毛细性 32

第二节 达西定律 34

第三节 渗透力与渗透变形 40

小结 43

思考题 44

习题 44

第三章 土体中的应力 45

第一节 土的自重应力 45

第二节 基底压力 47

第三节 地基附加应力 49

小结 60

思考题 61

习题 61

第四章 土的压缩性及变形计算 63

第一节 土的压缩性 63

第二节 地基沉降量的计算 67

第三节 饱和粘性土地基的单向渗透固结理论 77

小结 81

思考题 83

习题 83

第五章 土的抗剪强度与土坡稳定分析 85

第一节 土的强度理论 85

第二节 强度指标的测定方法 90

第三节 土坡稳定分析 96

小结 101

思考题 102

习题 103

第六章 挡土墙及土压力 104

第一节 挡土墙的土压力 104

第二节 朗肯土压力理论 106

第三节 库仑土压力理论 113

第四节 土压力计算的影响因素及减少土压力的措施 117

小结 120

思考题 121

习题 121

第七章 地基承载力 122

第一节 概述 122

第二节 按塑性开展区的范围确定地基承载力 124

第三节 按极限荷载确定承载力 127

第四节 按规范确定地基容许承载力 132

小结 138

思考题 139

习题 139

第八章 天然地基上的浅基础设计 140

第一节 浅基础类型及设计原则 140

第二节 基础埋深的影响因素 150

第三节 基础尺寸设计 153

第四节 浅基础设计实例 160

第五节 天然地基上的浅基础施工 170

第六节 板桩墙的计算* 177

小结 184

思考题 185

习题 185

第九章 桩基础 187

第一节 桩基础概述 187

第二节 单桩极限承载力 192

VII 目 录

第三节 桩内力 and 位移计算	202	第二节 换土垫层法	257
第四节 群桩基础验算	212	第三节 挤密压实法	259
第五节 桩基础设计简介	215	第四节 排水固结法	264
第六节 桩基础的施工	218	第五节 深层搅拌法	268
小结	233	第六节 其他地基加固法简介	271
思考题	234	小结	274
习题	235	思考题	275
第十章 沉井基础及地下连续墙	236	习题	275
第一节 概述	236	第十二章 特殊地基的处理	276
第二节 沉井的类型和构造	237	第一节 软土地基	276
第三节 沉井的施工	240	第二节 湿陷性黄土地基	282
第四节 沉井的设计与计算*	245	第三节 冻土地区基础工程	285
第五节 地下连续墙简介	249	第四节 地震液化与基础抗震设计	289
小结	253	小结	297
思考题	254	思考题	298
习题	254	习题	298
第十一章 地基处理简介	255	参考文献	300
第一节 概述	255		

绪 论

一、土的概念及特点

地球表层多由岩石和土组成。未经风化的岩石,其矿物颗粒间有较强的联结,具有较高的强度、压缩性小、透水性弱,一般为坚硬的块体。土是岩石风化的产物,是矿物颗粒的松散集合体。由于成土母岩和形成历史的不同,使得土体在自然界中的种类繁多、分布复杂、性质各异。由于土粒之间的连接强度远小于土颗粒自身的强度,故土体常表现出散体性;由于土体之间的孔隙内存在水和空气,而常受外界温度、湿度及压力的影响,土又具有多孔性、多样性和易变性等特点。

工程中常将土作为地基(如房屋、水闸、码头、道路、桥梁等),或作为建筑材料(如路基、土坝、堤防等),或作为建筑物周围环境(如隧道、涵洞、运河以及其他地下建筑物);因此,土与土木工程建筑有着密切的联系,土的性质对建筑物的设计与使用有着直接的影响。

二、地基与基础的概念

地基基础设计是建筑物设计的一项重要内容。设计时要考虑场地的工程地质和水文地质条件、建筑物的使用要求,以及上部结构特点和施工条件等各种因素。为了保证建筑物的安全、正常使用,并充分发挥地基的承载力,必须深入调查研究地基条件,因地制宜确定设计方案。

通常把直接承受建筑物荷载,并受其影响的那一部分地层称为地基。未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。若天然地层较软弱,其承载力不能满足设计要求时,则需先经人工加固,再修建基础,这种地基称为人工地基。天然地基施工简单,经济性好,而人工地基一般比天然地基施工复杂,造价也高。条件允许情况下,应尽可能采用天然地基。

基础是建筑物的下部结构,根据基础的埋置深度不同,可分为浅基础和深基础。通常将埋置深度不超过 $3\sim 5\text{m}$ 、只需普通施工程序就可以建造的基础称为浅基础。如果浅层土质不良,需要把基础埋置于深处较好地层,常借助特殊的施工方法建造的基础称为深基础(如桩基、沉井、地下连续墙等)。

三、土力学与基础工程的基本内容

土力学是运用力学的基本原理和土工测试技术研究土的物理性质、物理状态,以及土的应力、变形、强度和渗透等力学特性的一门学科。土力学是力学的一个分支,是本课程的理论基础。由于土体的多孔性,使得土体具有易变性、多样性,其物理、化学和力学性质与一般刚性或弹性固体有所不同。因此,必须通过专门的土工测试技术进行探讨。

土力学部分主要研究土的基本物理力学法则,为地基基础和土工结构的设计计算以及不良地基的处理提供基本理论基础。内容包括:土的物理性质、土中水的运动规律、土体中的应力、地基土的变形性质、地基土的抗剪强度和稳定性、土压力。基础工程部分主要研究浅基础设计、桩基础、沉井与地下连续墙、地基处理、特殊地基上的基础工程。

从事道路工程和桥梁工程的技术人员，在工程实践中将会遇到大量与土有关的工程技术问题。

在道路工程中，土是修筑路堤的基本材料，同时它又是支承路堤的地基。路堤的临界高度和边坡坡度都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关；为了获得具有一定强度和良好水稳定性的路基，需要采用碾压的施工方法，而碾压土体的质量控制又以土的击实特性为依据；挡土墙设计的侧向土压力需根据土力学的土压力理论来计算。近年来，我国大量高速公路的修建，对路基的沉降控制提出了很高的技术要求，而解决沉降问题需要对土的压缩性以及沉降与时间的关系进行深入的研究。土基的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的问题，防治冻害的有效措施需要以土力学的原理为基础；稳定土是比较经济的基层材料，它是根据土的物理化学性质提出的土质改良的一种措施。目前深层搅拌水泥土桩在公路的软基处理中得到了广泛应用；道路在车辆的重复荷载作用下，需要研究土在重复荷载作用下的变形特性，而抗震设计更需要研究土的动力特性。

在桥梁工程中，基础工程的造价占总造价的比重大，经济、合理的桥梁基础设计需要依靠土力学基本理论的支持；对于超静定的大跨度桥跨结构，基础的沉降、倾斜或水平位移是引起结构过大次应力的重要因素；软土地区高速公路建设中的“桥头跳车”是影响工程正常使用技术难题，解决这一难题的技术关键在于如何合理控制桥墩与路堤之间的沉降差，这一问题涉及桩基础和路堤的沉降计算与控制、填土的碾压质量控制以及软基的加固处理等知识。

由于土力学与基础工程有着不可分割的内在联系，因此，本书将二者合编为一。学好本课程不仅为学习其他专业课程打下良好的理论基础，更是为今后从事路桥专业技术工作，解决有关地基与基础工程技术问题奠定良好的基础。

四、基础工程设计计算的原则

地基与基础是建筑物的支撑，统称为基础工程，其勘察、设计和施工质量的好坏将直接影响到建筑物的安全、经济和正常使用。同时，基础工程为隐蔽工程，一旦失事，损失巨大，且补救十分困难。因此，基础工程在土木工程中具有十分重要的作用。

基础工程设计计算的目的是设计安全、经济和运行可靠的地基基础方案，以保证结构物的安全和正常使用。基础工程设计计算的基本原则是：

(1) 基础底面的压力小于地基持力层的容许承载力，任一层所受的总应力应小于该层的容许承载力。

(2) 地基的变形值小于结构物允许的沉降值。

(3) 地基及基础整体稳定应有足够保证。

(4) 基础本身的强度应满足要求。

地基与基础设计方案的确定主要取决于地基土层的工程性质与水文地质条件、荷载特性、上部结构的形式及使用要求，以及材料的供应和施工技术等因素。方案选择的原则是：力求使用上安全可靠，施工技术上简便可行，投资上经济合理。必要时应作不同方案的比较，选出较为适宜与合理的设计和施工方案。

五、基础工程设计和施工所需的资料

地基与基础的设计方案、计算中有关参数的选用，都需要根据当地的地质条件、水文条件、上部结构形式、作用特性、材料情况及施工要求等因素全面考虑。施工方案和方法也应

该结合设计要求、地形、地质条件、施工技术设备、施工季节、气候和水文等情况来研究确定。无论设计或施工，事先都应通过详细的调查研究，充分掌握必要的实际资料。下面对桥梁基础工程所需资料及计算作用确定原则作简要介绍。

桥梁的地基与基础在设计及施工开始之前，除了应掌握上部结构形式、跨径、荷载、墩台结构以及国家颁发的桥梁设计和施工技术规范外，还应注意地质、水文资料的搜集和分析，重视土质和建筑材料的调查与试验。主要应掌握的地质、水文、地形等资料见表 0-1，其中各项资料内容范围可根据桥梁工程规模、重要性及建桥地点工程地质、水文条件的具体情况和设计阶段确定取舍。

表 0-1 基础工程设计和施工需要的有关调查资料

资料种类	资料主要内容	资料用途
1. 桥位平面图 (或桥址地形图)	(1) 桥位地形 (2) 桥位附近地貌、地物 (3) 不良工程地质现象的分布位置 (4) 桥位与两端路线平面关系 (5) 桥位与河道平面关系	(1) 桥位的选择、下部结构位置的研究 (2) 施工现场的布置 (3) 地质概况的辅助资料 (4) 河岸冲刷及水流方向改变的估计 (5) 墩台、基础防护构造物的布置
2. 桥位工程地质勘测报告及工程地质纵剖面图	(1) 桥位地质勘测调查资料,包括河床地层分层土、岩类及岩性,层面标高,钻孔位置及钻孔柱状图 (2) 地质、地史资料的说明 (3) 不良工程地质现象及特殊地貌的调查勘测资料	(1) 桥位、下部结构位置的选定 (2) 地基持力层的选定 (3) 墩台高度、结构形式的选定 (4) 墩台、基础防护结构物的布置
3. 地基土质调查试验报告	(1) 钻孔资料 (2) 覆盖层及地基土(岩)层成因及分布 (3) 分层土(岩)质物理、力学试验资料 (4) 荷载试验报告 (5) 地下水水位调查	(1) 分析和掌握地基的层状 (2) 地基持力层及基础埋置深度的研究与确定 (3) 地基各土层强度及有关计算参数的选定 (4) 确定基础类型和构造 (5) 计算基础沉降量
4. 河流水文调查报告	(1) 桥位附近河道纵横断面图 (2) 有关流速、流量、水位调查资料 (3) 各种冲刷深度的计算资料 (4) 通航等级、漂浮物、流冰调查资料	(1) 根据冲刷要求确定基础的埋置深度 (2) 桥墩身水平作用力计算 (3) 施工季节、施工方法的研究
5. 其他资料	(1) 地震	(1) 确定抗震设计强度 (2) 抗震设计方法和抗震措施的确定 (3) 地基土振动液化和岸坡滑移的分析研究
	(2) 建筑材料	(1) 当地可供应的建筑材料种类、数量、规格、质量、运距等 (2) 当地工业加工能力、运输条件等资料 (3) 工程用水调查

(续)

资料种类	资料主要内容	资料用途
	(3) 气象 (1) 当地气象台有关气温变化、降水量、风向、风力等记录资料 (2) 实地调查采访记录	(1) 确定建筑物使用环境 (2) 确定基础埋置深度 (3) 风压的确定 (4) 确定施工季节和方法
	(4) 附近桥梁的调查 (1) 附近桥梁结构形式、设计书、图样、现状 (2) 地质、地基土(岩)性质 (3) 河道变动、冲刷、淤积情况 (4) 营运情况及墩台变形情况	(1) 掌握架桥地点地质、地基土情况 (2) 基础埋置深度的参考 (3) 河道冲刷和改道情况的参考
5. 其他资料	(5) 施工调查资料 (1) 地质、地形、气象、地下水位、地形图、地区条件以及测量控制网 (2) 批准的基本建设计划、投资期限、投资指标、管理部门的批件 (3) 初步设计或技术设计、已批准的总概算 (4) 工程开竣工时间,以及与其他项目穿插施工的要求等 (5) 国家及建设地区现行的有关规范、规程、规定及定额 (6) 有关技术新成果和类似工程的经验资料等	(1) 施工方法及施工适宜季节的确定 (2) 工程用地的布置 (3) 拟定工程材料、设备供应、运输方案 (4) 工程动力及临时设备的规划 (5) 施工临时结构的规划

六、计算作用的确定

桥梁的地基与基础承受着上部传递来的各种直接作用和间接作用,各种作用的特性不同,出现的概率也不相同,常将作用荷载分为永久作用、可变作用和偶然作用,并将实际可能同时出现的作用效应组合起来,确定设计时的计算作用效应。

1. 作用分类

公路桥涵设计采用的作用分为永久作用、可变作用和偶然作用三类(表 0-2)。

表 0-2 作用分类表

编号	作用分类	作用名称	编号	作用分类	作用名称
1	永久作用	结构重力(包括结构附加重力)	12	可变作用	人群荷载
2		预加力	13		汽车制动力
3		土的重力	14		风荷载
4		土侧压力	15		流水压力
5		混凝土收缩及徐变作用	16		冰压力
6		水的浮力	17		温度(均匀温度和梯度温度)作用
7		基础变位作用	18		支座摩阻力
8	可变作用	汽车荷载	19	偶然作用	地震作用
9		汽车冲击力	20		船舶或漂流物的撞击作用
10		汽车离心力	21		汽车撞击作用
11		汽车引起的土侧压力			

2. 不同作用的代表值

永久作用应采用标准值作为代表值。

可变作用应根据不同的极限状态分别采用标准值、频遇值或准永久值作为其代表值。承载能力极限状态设计及按弹性阶段计算结构强度时应采用标准值作为可变作用的代表值。正常使用极限状态按短期效应（频遇）组合设计时，应采用频遇值作为可变作用的代表值；按长期效应（准永久）组合设计时，应采用准永久值作为可变作用的代表值。

偶然作用取其标准值作为代表值。

各种作用的代表值按下列规定取用：

(1) 永久作用的标准值，对结构自重（包括结构附加重力），可按结构构件的设计尺寸与材料的重度计算确定。

(2) 可变作用的标准值应按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2004）中的规定采用。

可变作用频遇值为可变作用标准值乘以频遇值系数 ψ_1 。可变作用准永久值为可变作用标准值乘以准永久值系数 ψ_2 。

(3) 偶然作用标准值应根据调查、试验资料，结合工程经验确定。

3. 作用效应组合原则

公路桥涵结构设计应考虑结构上可能同时出现的作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合，取其最不利效应组合进行设计。作用效应组合原则如下：

(1) 只有在结构上可能同时出现的作用，才进行其效应的组合。当结构或结构构件需作不同受力方向的验算时，则应以不同方向的最不利的作用效应进行组合。

(2) 当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时，该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的可变作用，按表 0-3 规定不考虑其作用效应的组合。

表 0-3 可变作用不同时组合表

编号	作用名称	不与该作用同时参与组合的作用编号	编号	作用名称	不与该作用同时参与组合的作用编号
13	汽车制动力	15, 16, 18	16	冰压力	13, 15
15	流水压力	13, 16	18	支座摩阻力	13

(3) 施工阶段作用效应的组合，应按计算需要及结构所处条件而定，结构上的施工人员和施工机具设备均应作为临时荷载加以考虑。组合式桥梁，当把底梁作为施工支撑时，作用效应宜分两个阶段组合，底梁受荷为第一个阶段，组合梁受荷为第二个阶段。

(4) 多个偶然作用不同时参与组合。

4. 承载能力极限状态的作用效应组合

公路桥涵结构按承载能力极限状态设计时，应采用以下两种作用效应组合：

(1) 基本组合。永久作用的设计值效应与可变作用设计值效应相组合，其效应组合表达式为

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Ci} S_{Cik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \quad (0-1)$$

或

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m S_{Gid} + S_{Q1d} + \psi_c \sum_{j=2}^n S_{Qjd} \right) \quad (0-2)$$

- 式中 S_{ud} ——承载力极限状态下作用基本组合的效应组合设计值；
- γ_0 ——结构重要性系数，对应于设计安全等级一级、二级和三级分别取 1.1、1.0 和 0.9；
- γ_{Gi} ——第 i 个永久作用效应的分项系数，应按表 0-4 的规定采用；
- S_{Gik} 、 S_{Gid} ——第 i 个永久作用效应的标准值和设计值；
- γ_{Q1} ——汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）的分项系数，取 $\gamma_{Q1} = 1.4$ 。当某个可变作用在效应组合中其值超过汽车荷载效应时，则该作用取代汽车荷载，其分项系数应采用汽车荷载的分项系数；对专为承受某作用而设置的结构或装置，设计时该作用的分项系数取与汽车荷载同值；计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载，其分项系数也与汽车荷载取同值；
- S_{Q1k} 、 S_{Q1d} ——汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）的标准值和设计值；
- γ_{Qj} ——在作用效应组合中除汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）、风荷载外的其他第 j 个可变作用效应的分项系数，取 $\gamma_{Qj} = 1.4$ ，但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Qj} = 1.1$ ；
- S_{Qjk} 、 S_{Qjd} ——在作用效应组合中除汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）外的其他第 j 个可变作用效应的标准值和设计值；
- ψ_c ——在作用效应组合中除汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）外的其他可变作用效应的组合系数，当永久作用与汽车荷载和人群荷载（或其他一种可变作用）组合时，人群荷载（或其他一种可变作用）的组合系数取 $\psi_c = 0.80$ ；当除汽车荷载（含汽车冲击力、离心力）外尚有二种其他可变作用参与组合时，其组合系数取 $\psi_c = 0.70$ ；尚有三种可变作用参与组合时，其组合系数取 $\psi_c = 0.60$ ；尚有四种及多于四种的可变作用参与组合时，取 $\psi_c = 0.50$ 。

设计弯桥时，当离心力与制动力同时参与组合时，制动力标准值或设计值按 70% 取用。

表 0-4 永久作用效应的分项系数

编号	作用类别	永久作用效应分项系数	
		对结构的承载力不利时	对结构的承载力有利时
1	混凝土和圬工结构重力（包括结构附加重力）	1.2	1.0
	钢结构重力（包括结构附加重力）	1.1 或 1.2	
2	预加力	1.2	1.0
3	土的重力	1.2	1.0
4	混凝土的收缩及徐变作用	1.0	1.0
5	土侧压力	1.4	1.0
6	水的浮力	1.0	1.0
7	基础变位作用	混凝土和圬工结构	0.5
		钢结构	1.0

注：本表编号 1 中，钢结构重力，当钢桥采用钢桥面板时，永久作用效应分项系数取 1.1；当采用混凝土桥面板时，取 1.2。

(2) 偶然组合。永久作用标准值效应与可变作用某种代表值效应、一种偶然作用标准值效应相组合。偶然作用的效应分项系数取 1.0; 与偶然作用同时出现的可变作用, 可根据观测资料和工程经验取用适当的代表值。地震作用标准值及其表达式按现行《公路工程抗震设计规范》规定采用。

5. 正常使用极限状态的作用效应组合

公路桥涵结构按正常使用极限状态设计时, 应根据不同的设计要求, 采用以下两种效应组合:

(1) 作用短期效应组合。永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应相组合, 其效应组合表达式为

$$S_{sd} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{1j} S_{Qik} \quad (0-3)$$

式中 S_{sd} ——作用短期效应组合设计值;

ψ_{1j} ——第 j 个可变作用效应的频遇值系数, 汽车荷载 (不计冲击力) $\psi_1 = 0.7$, 人群荷载 $\psi_1 = 1.0$, 风荷载 $\psi_1 = 0.75$, 温度梯度作用 $\psi_1 = 0.8$, 其他作用 $\psi_1 = 1.0$;

$\psi_{1j} S_{Qik}$ ——第 j 个可变作用效应的频遇值。

(2) 作用长期效应组合。永久作用标准值效应与可变作用第 j 个可变作用效应的准永久值效应相组合, 其效应组合表达式为

$$S_{ld} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qik} \quad (0-4)$$

式中 S_{ld} ——作用长期效应组合设计值;

ψ_{2j} ——第 j 个可变作用效应的准永久值系数, 汽车荷载 (不计冲击力) $\psi_2 = 0.7$, 人群荷载 $\psi_2 = 0.4$, 风荷载 $\psi_2 = 0.75$, 温度梯度作用 $\psi_2 = 0.8$, 其他作用 $\psi_2 = 1.0$;

$\psi_{2j} S_{Qik}$ ——第 j 个可变作用效应的准永久值。

结构构件当需进行弹性阶段截面应力计算时, 除特别指明外, 各作用效应的分项系数及组合系数均取为 1.0, 各项应力限值按各设计规范规定采用。

验算结构的抗倾覆、滑动稳定时, 稳定系数、各作用的分项系数及摩擦系数, 应根据不同结构按各有关桥涵设计规范的规定确定。支座的摩擦系数可按《公路桥涵设计通用规范》规定采用。

构件在吊装、运输时, 构件重力应乘以动力系数 1.2 或 0.85, 并可视构件具体情况作适当增减。

七、土力学与基础工程学科发展概况

土力学是利用力学知识和土工试验技术来研究土的强度、变形及其规律的一门科学。它是一门既古老又年轻的应用科学。古人兴建的大型水利工程、宫殿、庙宇、堤坝、桥梁以及灵巧的水榭楼台、巍峨的高塔、蜿蜒万里的长城、大运河等, 都为本学科的发展积累了丰富的经验, 奠定了古典土力学的基础。然而, 这些仅限于工程实践经验, 未能形成系统的理论。土力学的理论始于 18 世纪兴起工业革命的欧洲, 随着大量建筑物的兴建, 促使人们对土进行进一步的研究, 并开始在经验的基础上作理论解释。经过 17、18 世纪很多学者的研究, 如法国的库仑、达西、英国的朗肯等学者都为土力学的发展作出了大量的贡献, 初步奠

定了土力学的理论基础。1925年美国著名科学家、土力学奠基人太沙基归纳了前人的成就,发表了《土力学》一书,比较系统地介绍了土力学的基本内容,土力学才成为一门独立的科学。20世纪60年代后期,由于计算机的产生、计算方法的改进与测试技术的发展以及本构模型的建立等,又迎来了土力学发展的新时期。现代土力学主要表现在一个模型(即本构模型),三个理论(即非饱和土的固结理论、液化破坏理论和逐渐破坏理论),四个分支(即理论土力学、计算土力学、实验土力学和应用土力学)。其中理论土力学是龙头,计算土力学是筋脉,实验土力学是基础,应用土力学是动力。未来人类的发展将面对资源与环境对人类生存的挑战,更多的各种岩土工程问题需要解决,青年学生、祖国的栋梁将要肩负起历史的重任。

基础工程与其他技术学科一样,是人类在长期的生产实践中不断发展起来的,在世界各文明古国数千年的建筑活动中,就有很多关于基础工程的工艺技术成就,但由于当时受社会生产力和技术条件的限制,在相当长的时期内发展很缓慢,仅停留在经验积累的感性认识阶段。国外在18世纪产业革命以后,城建、水利、道路建筑规模的扩大促使人们对基础工程的重视与研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。此阶段在作为本学科的理论基础的土力学方面,如土压力理论、土的渗透理论等有局部的突破,基础工程也随着工业技术的发展而得到新的发展,如19世纪中叶利用气压沉箱法修建深水基础。20世纪20年代,基础工程有比较系统、比较完整的专著问世,1936年召开第一届国际土力学与基础工程会议后,土力学与基础工程作为一门独立的学科取得不断的发展。20世纪50年代起,现代科学新成就的渗入,使基础工程技术与理论得到更进一步的发展与充实,成为一门较成熟的独立的现代学科。

我国是一个具有悠久历史的文明古国,我国古代劳动人民在基础工程方面,也早就表现出高超的技艺和创造才能。例如,远在1300多年前隋朝时所修建的赵州安济石拱桥,不仅在建筑结构上有独特的技艺,而且在地基基础的处理上也非常合理,该桥桥台座落在较浅的密实粗砂土层上,沉降很小,现反算其基底压力约为 $500 \sim 600 \text{ kPa}$,与现行的各设计规范中所采用的该土层容许承载力的数值(550 kPa)极为接近。

由于我国封建社会历时漫长,且近百余年遭受帝国主义侵略和压迫,再加上当时国内统治阶级的腐败,本学科和其他科学技术一样,长期陷于停滞状况,落后于同时代的工业发达国家。中华人民共和国成立后,在中国共产党的英明领导下,社会主义大规模的经济建设事业飞速发展,促进了本学科在我国的迅速发展,并取得了辉煌的成就。

国外近年来基础工程科学技术发展也较快,一些国家采用了概率极限状态设计方法,将高强度预应力混凝土应用于基础工程,基础结构向薄壁、空心、大直径发展,采用的管桩直径达 6 m ,沉井直径达 80 m (水深 60 m)并以大口径磨削机对基岩进行处理,在水深流速较大处采用水上自升式平台进行沉桩(管柱)施工等。

基础工程既是一项古老的工程技术又是一门年轻的应用科学,发展至今在设计理论和施工技术及测试工作中都存在不少有待进一步完善解决的问题,随着祖国现代化建设,大型和重型建筑物的发展将对基础工程提出更高的要求,我国基础工程科学技术可着重开展以下工作:开展地基的强度、变形特性的基本理论研究;进一步开展各类基础型式设计理论和施工方法的研究。